

FUNDAMENTOS DEL SERVICIO

Introducción

El hombre vive inmerso en el medio atmosférico y desde que nace su desarrollo tiene lugar en estrecha y continua interdependencia con el entorno físico-geográfico circundante, que incluye las características predominantes de la variabilidad del clima local y del estado del tiempo diario.

Los estudios biometeorológicos precedentes han demostrado la estrecha relación que existe entre los cambios bruscos del estado del tiempo y la salud humana, la comunidad biometeorológica se planteó la tarea de desarrollar sistemas de alerta temprana dirigidos a detectar y prevenir los efectos desfavorables del tiempo sobre el hombre. En este sentido, son 3 las vías principales que se han utilizado para lograr tales sistemas, a saber:

- Los servicios que se fundamentan en el cálculo de los componentes del balance de calor del cuerpo humano.
- Los servicios que consideran los efectos de los distintos tipos de situaciones sinópticas y masas de aire sobre la salud humana, y
- Los sistemas de pronóstico que se basan en el comportamiento de algunos elementos meteorológicos individuales o índices complejos que no incluyen la radiación solar.

También pueden encontrarse aplicaciones mixtas donde se logra una combinación de los métodos antes mencionados, como es el caso del servicio cubano **PronBiomet**, por cuanto se utiliza la diferencia en 24 horas de la densidad parcial del oxígeno en el aire como indicador complejo de referencia para pronosticar los efectos meteoro-trópicos entre la población local, pero considerando la dinámica de cambio de las situaciones sinópticas específicas presentes en la región de pronóstico.

Objetivo del pronóstico

El pronóstico biometeorológico se elabora para prevenir y minimizar los impactos de los cambios bruscos del estado del tiempo sobre la salud humana, especialmente aquellos que producen el aumento de la ocurrencia diaria de algunas enfermedades crónicas no transmisibles como el asma bronquial, la hipertensión arterial, las enfermedades del corazón, las cefaleas, los accidentes cerebro-vasculares y algunos tipos de infecciones respiratorias agudas, entre otras.

El ritmo del tiempo

La variabilidad del estado del tiempo se expresa tanto espacial como temporalmente. En el primer caso el tiempo cambia de un lugar a otro, dando condiciones meteorológicas diferentes entre localidades distantes unas de otras; pero también cambia con el tiempo cronológico, pues las condiciones meteorológicas son diferentes en los distintos momentos del día (la madrugada, la tarde, etc.). Esta variabilidad del estado del tiempo ejerce efectos específicos sobre la fisiología de los seres vivos y condiciona la respuesta meteoro-trópica de éstos, especialmente cuando los cambios son muy bruscos y contrastantes, o durante el impacto de procesos hidrometeorológicos peligrosos como los huracanes.

El modelo **PronBiomet** expresa la variación espacial del estado del tiempo mediante los mapas de variación en 24 horas del contenido de oxígeno del aire (Fig. 1); y la variación temporal mediante los denominados Meteorogramas de Estación (Fig. 2). Tanto en uno

como en el otro caso, se puede observar la forma en que el complejo meteorológico se transforma bajo la influencia de los diferentes tipos de situaciones sinópticas o en las distintas localidades de una región dada.

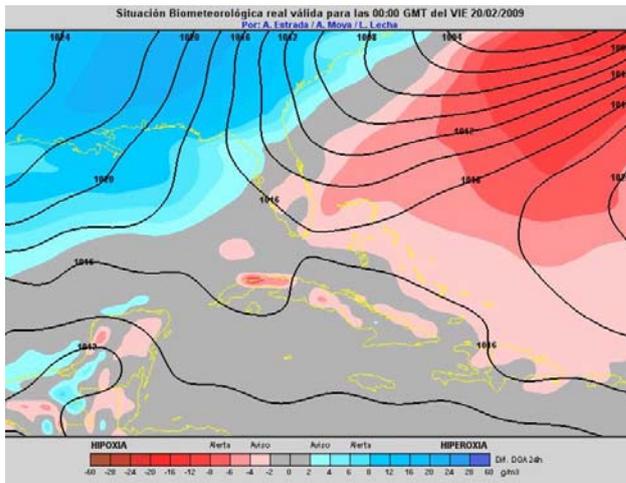


Fig. 1

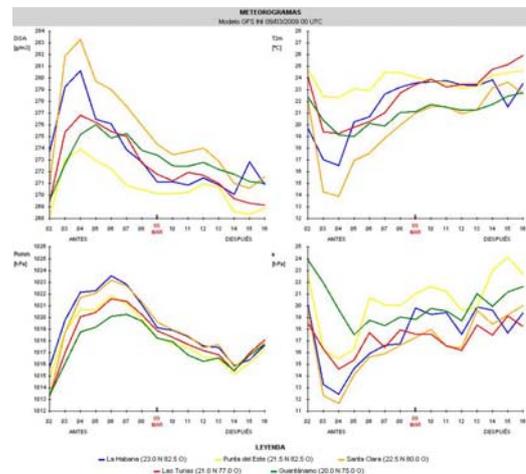


Fig. 2

Cuando se analiza un período cronológico de varios días, el ritmo del tiempo se puede estudiar según el comportamiento de la marcha diaria o interdiaria de los principales elementos meteorológicos. La marcha diaria es la que transcurre dentro de las 24 horas de un mismo día y se utiliza para evaluar los contrastes entre los diferentes momentos del día (por ejemplo: día - noche); pero la marcha interdiaria se utiliza en función de evaluar el efecto del contraste dado por el valor de los elementos meteorológicos medidos a la misma hora durante varios días consecutivos. Son dos tipos de variaciones temporales distintas y sus efectos son diferentes sobre los seres vivos.

El sistema de pronósticos **PronBiomet** está fundamentado sobre la variabilidad interdiaria del estado del tiempo. No quiere decir que la variabilidad diaria no tenga efectos sobre la salud de las personas, sino que se prefirió la variabilidad interdiaria porque ésta se asocia mejor al ritmo de los procesos atmosféricos, o sea, los llamados tipos de situaciones sinópticas (TSS).

En los trópicos, donde Cuba se encuentra, es poco probable que los tipos de situaciones sinópticas que influyen sobre el territorio cambien en el transcurso de un mismo día. De manera que cada día puede asociarse a un tipo específico de situación meteorológica dominante. Esto no es igual en latitudes medias y altas, donde la variabilidad del estado del tiempo es mayor, pero sobre este tema se volverá más adelante.

La Fig. 3 muestra el valor de la densidad del oxígeno del aire (DOA) en Sagua la Grande, medida a las 00:00 GMT y 12:00 GMT durante el período de noviembre 2006 hasta diciembre 2008 (25 meses). Como se observa, los mayores valores y los numerosos cambios contrastantes de este índice complejo ocurren en el período invernal, especialmente durante el paso de los sistemas frontales y la influencia subsiguiente de las masas de aire continentales con altas presiones y temperaturas frías.

Este comportamiento del índice DOA se repite en otras regiones geográficas, como sucede en la ciudad de Basurto, país Vasco, España (Fig. 4); donde además de una marcada variación estacional e interdiaria del índice, al comenzar el otoño se observan también máximos significativos de la DOA ante la influencia de los primeros sistemas meteorológicos extratropicales después del verano. Nótese que los valores diarios de la DOA en Deusto son, aproximadamente, un 2 % más elevados.

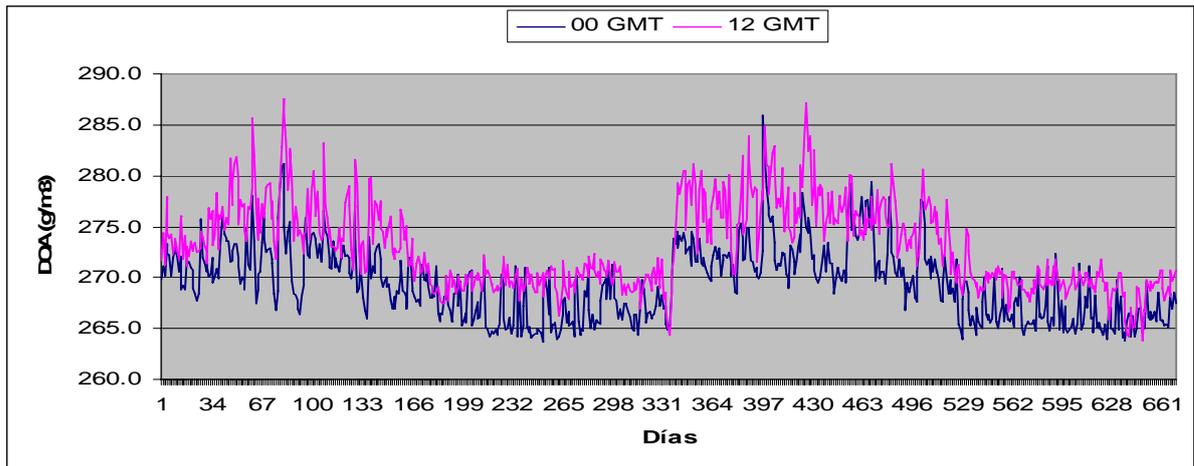


Fig. 3 Valor diario de la DOA en Sagua la Grande (2007-2008).

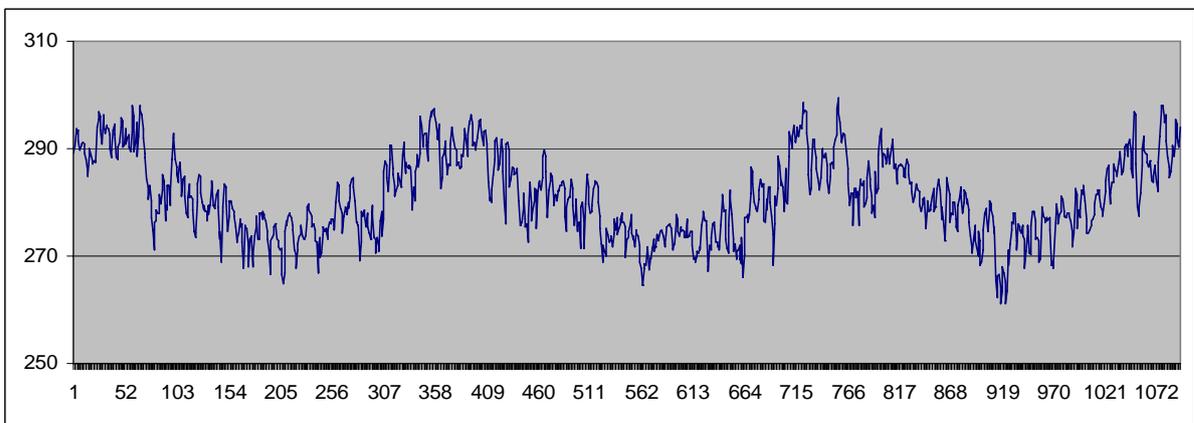


Fig. 4 Valor diario de la DOA en Deusto, España (2005-2007).

Los cambios bruscos de la DOA se aprecian mejor en la Fig. 5, donde se muestran las diferencias en 24 horas del contenido de oxígeno del aire para las mismas localidades, en el mismo horario y época del año. Es evidente en ciertos días, la ocurrencia de picos de máximo contraste, los que definen el ritmo interdiario del estado del tiempo.

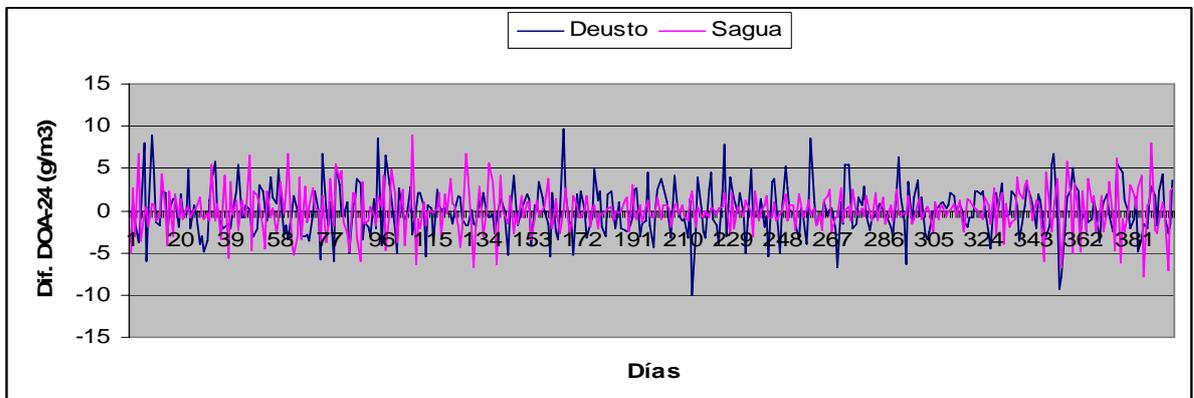


Fig. 5

Según los resultados de investigaciones cubanas (Lecha y Delgado, 1996), cuando estos cambios del contenido de oxígeno del aire exceden a $\pm 2 \text{ g/m}^3$ se observa una estrecha relación con la ocurrencia diaria de algunas enfermedades crónicas no transmisibles, lo cual determinó que este indicador complejo fuera seleccionado para hacer el pronóstico de las posibles reacciones meteoro-patológicas entre la población local.

El ritmo de las enfermedades

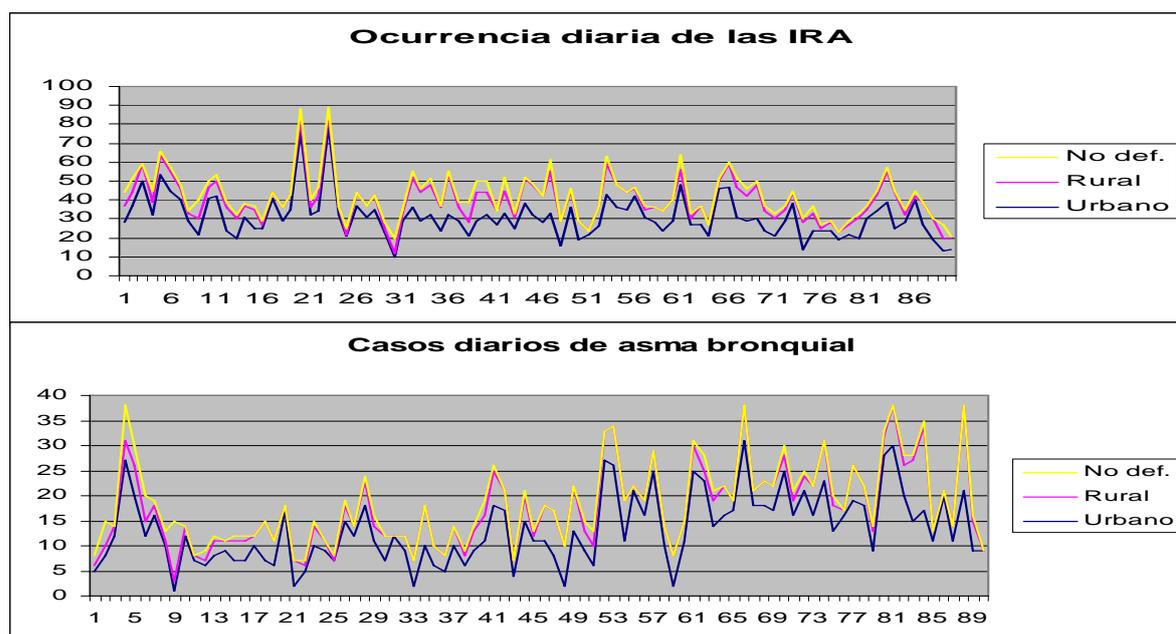
La ocurrencia diaria de las enfermedades tiene su propio ritmo interdiario. No todos los días las condiciones meteorológicas favorecen la ocurrencia de crisis de salud; y además de los estímulos asociados a los cambios de tiempo, sobre la salud humana inciden muchos otros factores externos, por lo que separar unos de los otros puede resultar una tarea muy complicada e inútil, porque en definitiva la gran mayoría de estos factores externos se asocian a causas ambientales, tales como: la contaminación atmosférica, las condiciones higiénico-sanitarias, las características constructivas de las edificaciones y muchos otros.

No obstante, cuando se producen respuestas meteoro-patológicas masivas entre la población local, son dos las condiciones determinantes para establecer el origen meteoro-trópico de las mismas:

1. El sincronismo espacial de los máximos de la enfermedad, o sea, que el máximo diario se observe simultáneamente en varios centros de salud de la misma ciudad o en varios municipios vecinos de una misma provincia, y
2. La magnitud del máximo diario de la enfermedad excede en más de 150 % el valor medio de la misma enfermedad en el mes correspondiente.

También ha quedado demostrado en los estudios cubanos que no existe una coincidencia exacta en las fechas de ocurrencia de los máximos diarios de las distintas enfermedades. Ciertos pacientes sufren más crisis bajo condiciones de hiperoxia, mientras que otros resultan más susceptibles a las condiciones de hipoxia. En los casos de elevada meteoro-labilidad, los pacientes pueden responder tanto a una condición como a la otra.

La marcha diaria de las enfermedades bajo monitoreo y que forman parte del esquema de aplicación del pronóstico biometeorológico operativo debe reflejarse en un gráfico que acompaña al Meteorograma de Estación, lo cual permite ver directamente la asociación que se va estableciendo entre el ritmo del tiempo y el ritmo de las enfermedades (Fig. 6).



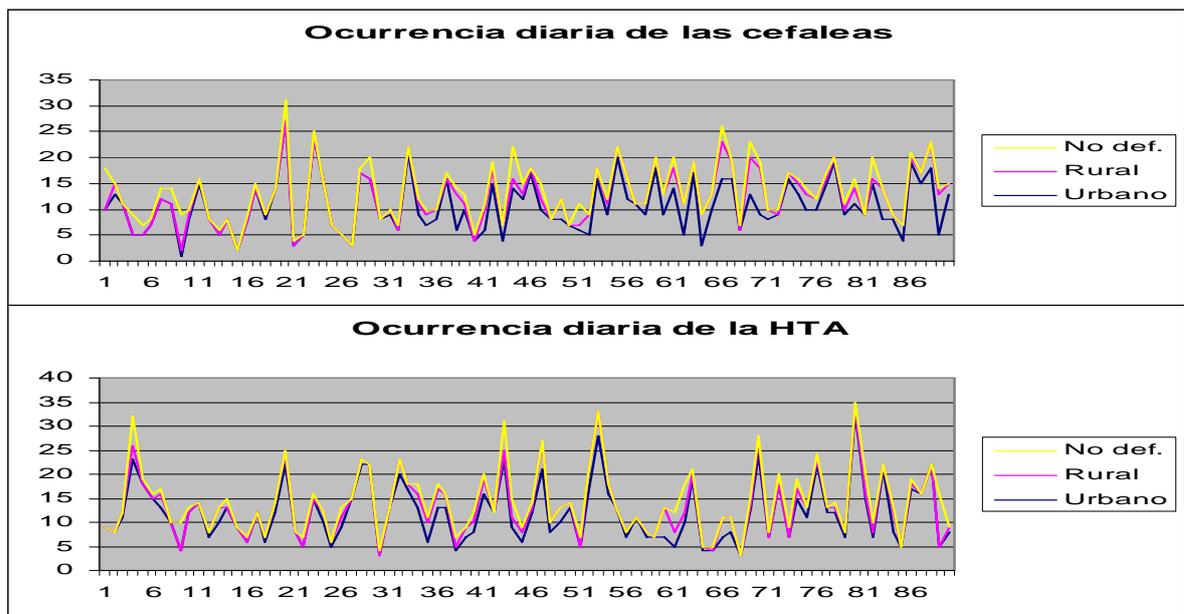


Fig. 6 Ocurrencia diaria de enfermedades en Sagua la Grande.

La meteorolabilidad de las poblaciones e individuos

La meteorolabilidad de los individuos es una función de su capacidad de adaptación. Cuando los cambios del medio circundante exceden de ciertos umbrales límites, específicos para cada individuo, la falta de capacidad para adaptarse a las nuevas condiciones puede conducir a la ocurrencia de crisis de salud (Fig. 7); pero éste resulta un proceso muy complejo porque la capacidad individual de adaptación depende, a su vez, de múltiples factores, entre ellos: el sexo, la edad, la raza, el lugar de residencia, el estado general de salud, el grado de entrenamiento físico, etc.

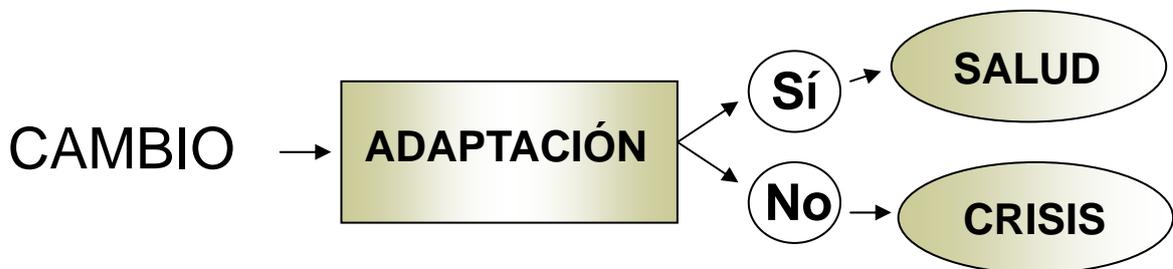


Fig. 7 Esquema simple de las relaciones tiempo – salud humana.

En el caso de las poblaciones, en la medida que éstas se encuentran más alejadas de los trópicos, mayor es su capacidad de adaptación a la variabilidad del clima y del estado del tiempo, ya que los procesos atmosféricos cambian más rápidamente en latitudes medias y altas, al igual que la variabilidad del tiempo es mayor en áreas continentales que en áreas oceánicas e insulares, así como mayor en la época invernal que durante el verano.

Debido a que los pronósticos biometeorológicos ya utilizan un índice complejo como punto de referencia para evaluar los impactos del tiempo sobre la salud, es conveniente no aplicar una sola escala a los mapas de salida, sino que debe permitirse la posibilidad de modificar los niveles de respuesta del modelo en función de la sensibilidad estimada de cada población.

Por tanto, el intervalo de no impacto o zona neutral para las variaciones en 24 horas de la densidad parcial del oxígeno del aire cambia con la latitud geográfica y la época del año; y consecuentemente, se mueven los restantes intervalos de la escala de clasificación para considerar la ocurrencia de los posibles efectos meteoro-trópicos entre la población.

La tabla siguiente constituye la base numérica de representación de las salidas del contraste biometeorológico interdiario; y el modelo **PronBiomet** adapta automáticamente las salidas a las condiciones de cada población de referencia, según los criterios antes señalados.

Ello es una forma práctica de reflejar las diferentes capacidades de adaptación de cada población, pues hasta tanto no existan estudios fisiológicos y resultados experimentales específicos, no hay otra manera de expresar espacialmente esta importante característica de las diferentes poblaciones y comunidades humanas.

Tabla 1. Escalas de referencia para considerar la adaptación de las poblaciones a la variabilidad del tiempo, en función de la latitud geográfica y época del año.

Condición biometeorológica	Baja latitud	Latitud media	Latitud alta
Hiperoxia extrema	> 10.0	> 20.0	> 30.0
Hiperoxia muy fuerte	8.1 a 10.0	16.1 a 20.0	24.1 a 30.0
Hiperoxia fuerte	6.1 a 8.0	12.1 a 16.0	18.1 a 24.0
Hiperoxia moderada	4.1 a 6.0	8.1 a 12.0	12.1 a 18.0
Hiperoxia débil	2.1 a 4.0	4.1 a 8.0	6.1 a 12.0
ZONA NEUTRAL	-2.0 a 2.0	-4.0 a 4.0	-6.0 a 6.0
Hipoxia débil	-2.1 a -4.0	-4.1 a -8.0	-6.1 a -12.0
Hipoxia moderada	-4.1 a -6.0	-8.1 a -12.0	-12.1 a -18.0
Hipoxia fuerte	-6.1 a -8.0	-12.1 a -16.0	-18.1 a -24.0
Hipoxia muy fuerte	-8.1 a -10.0	-16.1 a -20.0	-24.1 a -30.0
Hipoxia extrema	< -10.0	< -20.0	< -30.0

Para los habitantes de la zona ecuatorial, que puede extenderse hasta los límites reales del trópico en los meses del pleno verano, la población local se expone a variaciones interdiarias del estado del tiempo muy pequeñas. En estos casos, las diferencias del estado del tiempo entre el día y la noche, u otras motivadas por efectos físico-geográficos locales pueden ser mayores que el contraste en 24 horas de los elementos del complejo meteorológico, por ello se ha introducido una categoría de representación para este caso, denominada escala de muy baja latitud, la cual es equivalente a la escala de baja latitud, excepto en que reduce la zona neutral al intervalo de sólo ± 1 g/m³.

Los fundamentos físico-matemáticos del modelo PronBiomet

La magnitud diaria de la densidad parcial del oxígeno del aire (DOA) tiene su máximo anual en invierno; pero día tras día, los valores cambian en función del comportamiento de la presión atmosférica, la temperatura y la humedad del aire, ya que están relacionados mediante la ecuación de estado expresada en la forma:

$$DOA = 80.51 \cdot P / (T + 273) \cdot (1 - T_{VA} / P)$$

Donde:

T: es la temperatura del aire en grados Celsius.

TVA: es la tensión del vapor de agua en hPa.

P: es la presión atmosférica reducida al nivel medio del mar, también en hPa.

El módulo de acceso a la bases de datos en Internet fue desarrollado en lenguaje de programación Delphi, el módulo encargado de realizar el procesamiento matemático de la información, en "C", y el tratamiento gráfico para las salidas fue desarrollado en C++. El empleo de varios lenguajes para el desarrollo del paquete de programas es consecuencia de las facilidades que cada uno ofrece en función de la tarea a cumplimentar.

La salida de los resultados se realizó a través de mapas que muestran las curvas de nivel de las variaciones interdiarias del contenido de oxígeno. Para ello es necesario, en correspondencia con la resolución del mapa base y el área geográfica que este representa, determinar el valor que toma la variable calculada en la coordenada geográfica asociada al píxel, para luego asignarle un color a este último, de acuerdo con la escala de colores predeterminada. Lo anterior conduce a la necesidad de aplicar un método de interpolación que permita convertir la malla regular de puntos empleada para el cálculo, a una nueva malla regular, cuya resolución en píxeles depende del mapa base.

Para dar solución a esta nueva tarea se aplicó el método de interpolación para mallas regulares "bicubic spline", una de las técnicas más empleadas para la obtención de una gran suavidad en la interpolación bidimensional (Press *et al.*, 1992).

Los cálculos se realizan para 6 regiones geográficas. La región que abarca Cuba y sus mares adyacentes. Se extiende desde los 94.5° hasta 65° de longitud oeste y desde los 15.5° a 35° de latitud norte. La región que abarca Norte América y el Caribe (Fig. 8), se extiende desde 140° a 50° de longitud oeste y desde los 10.1° hasta los 80° de latitud norte. La región que abarca América del sur, se extiende desde 92° a 30° de longitud oeste y desde los 15° de latitud norte hasta 60° de latitud sur. La región que abarca la mayor parte del continente Europeo, se extiende desde los 20° de longitud oeste hasta los 45° de longitud este y desde los 25° hasta los 75° de latitud norte. La región que comprende el sudeste asiático y Japón, se extiende desde los 95.5° hasta los 155° de longitud este y desde los 5° hasta los 54.5° de latitud norte. Y por último, la región que cubre Australia y Nueva Zelanda, se extiende desde los 105° hasta los 180° de longitud este y desde los 5° hasta los 54.5° de latitud sur.

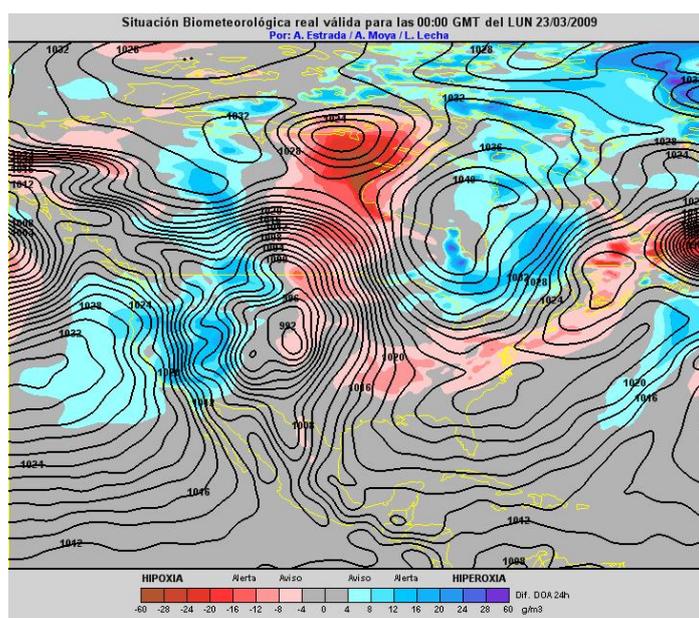


Fig. 8 Salida del modelo "PronBiomet" para América del Norte y el Caribe.

En cada mapa se distinguen áreas en tonos de rojos, los que se corresponden con zonas de descenso en 24 horas de la densidad parcial de oxígeno en aire (hipoxia relativa), y áreas en tonos azules, que se corresponden con zonas de incremento de dicha variable (hiperoxia relativa). Las zonas grises indican que no existen cambios significativos en la densidad de oxígeno en aire durante el período de 24 horas correspondiente.

También en cada mapa se incorpora el campo de presión superficial para brindar la información sobre la evolución esperada de las condiciones meteorológicas a la manera tradicional, o sea, se puede apreciar al mismo tiempo la situación sinóptica dominante y sus características termodinámicas, lo que permite ver el proceso de transformación de las masas de aire frío al moverse sobre superficies más cálidas y húmedas. Ello resulta una peculiaridad esencial de las salidas del modelo para su uso biometeorológico.

Como información complementaria se calcula para algunas localidades seleccionadas el valor de los elementos meteorológicos principales, así como el contenido de oxígeno del aire. Con estos datos se elabora el Meteorograma de las estaciones escogidas y se puede observar la variación cronológica de cada elemento durante 15 días: 7 días antes y después del día en que se inicializa el modelo (Fig. 9).

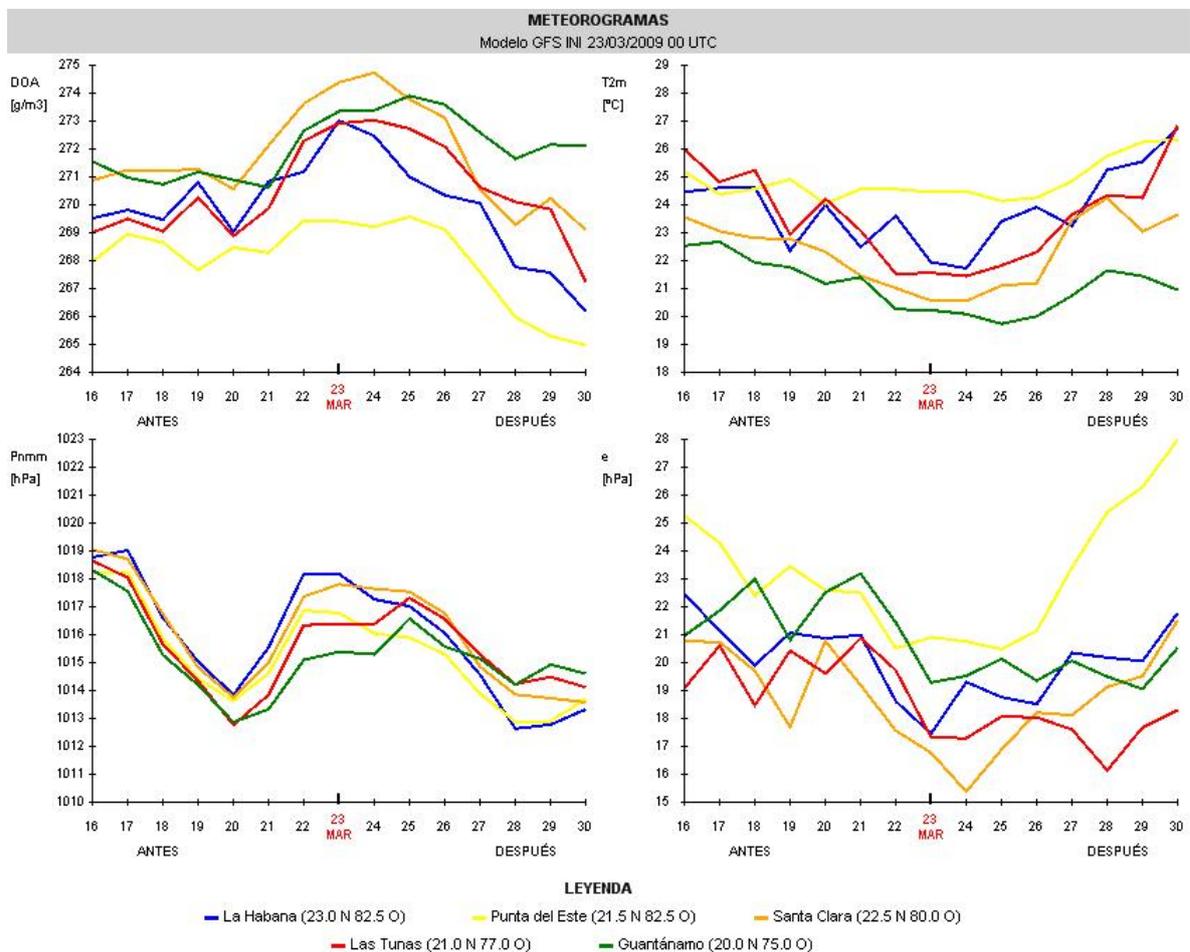


Fig. 9 Meteorogramas de estaciones seleccionadas de Cuba.